

#4
23 Jan 01
R. Tallent

Docket No.: 2746-012

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Elena BRUNELLI et al.

Serial No. 09/435,020

Filed: November 5, 1999

For: DISTORTION CORRECTION METHOD IN OPTICAL CODE READING



Group Art Unit: 2876

Examiner: unassigned

RECEIVED
JAN 22 2001
TC 2833 MAIL ROOM

TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
Washington, D. C. 20231

Sir:

At the time the above application was filed, priority was claimed based on the following application:

European Application No. 98830668.4 filed November 6, 1998

A copy of the priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,

LOWE HAUPTMAN GOPSTEIN GILMAN & BERNER, LLP

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Israel Gopstein".

Israel Gopstein
Registration No. 27,333

1700 Diagonal Road, Suite 310
Alexandria, Virginia 22314
(703) 684-1111 IG:tmf
Facsimile: 703-518-5499
Date: 25 September 2000



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets



Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

98830668.4

RECEIVED
JAN 22 2001
TC 2800 MAIL ROOM

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

I.L.C. HATTEN-HECKMAN

DEN HAAG, DEN
THE HAGUE, 17/11/99
LA HAYE, LE



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation

Anmeldung Nr.:
Application no.: 98830668.4
Demande n°:

Anmeldetag:
Date of filing: 06/11/98
Date de dépôt:

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
DATALOGIC S.P.A.
I-40012 Lippo di Calderara di Reno (Bologna)
ITALY

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:
Distortion correction method in optical code reading

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:	Tag:	Aktenzeichen:
State:	Date:	File no.
Pays:	Date:	Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:
G06T7/00, G06K7/14

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

The title of the invention in Italian reads as follows:
Metodo per la correzione della distorsione nella
lettura di codici ottici.

METODO PER LA CORREZIONE DELLA DISTORSIONE NELLA LETTU-
RA DI CODICI OTTICI

La presente invenzione è relativa ad un metodo per
5 la correzione della distorsione nella lettura di codici
ottici.

Nel seguito, con il termine "codice ottico" viene
indicata qualunque rappresentazione grafica avente la
funzione di memorizzare un'informazione codificata. Un
10 esempio particolare di codice ottico è costituito dai
codici lineari o bidimensionali, in cui l'informazione
è codificata tramite opportune combinazioni di elementi
di forma prefissata, ad esempio quadrati, rettangolari
o esagonali, di colore scuro (normalmente nero) separa-
15 ti da elementi chiari (spazi, normalmente bianchi),
quali i codici a barre, i codici stacked, (fra cui il
PDF417), il Maxicode, il Datamatrix, il QR-Code, codici
a colori, ecc. Il termine "codice ottico" comprende
inoltre, più in generale, anche altre forme grafiche
20 con funzione di codifica di informazioni, includenti
caratteri stampati in chiaro (lettere, numeri, ecc.) e
forme ("pattern") particolari (quali ad esempio timbri,
logo, firme, ecc.). L'informazione può inoltre essere
codificata tramite più di due colori, ad esempio in to-
25 ni di grigio.

Come è noto, per la codifica di informazioni, ad esempio per l'identificazione ottica di oggetti, sono attualmente molto diffusi i codici a barre, che vengono utilizzati in una varietà sempre più ampia di applicazioni grazie alla loro compattezza, alla loro robustezza nei confronti delle condizioni ambientali (che ne consentono una decodifica automatica anche in presenza di elevato rumore) e alla possibilità di lettura e interpretazione automatica. Tuttavia essi consentono la memorizzazione di un numero relativamente limitato di informazioni; per superare tale limitazione di recente sono stati quindi proposti codici bidimensionali, quali i codici Datamatrix, Maxicode, QR-Code e stacked (ad esempio PDF417), esempi dei quali sono mostrati rispettivamente nelle figure 1a, 1b, 1c e 1d.

La lettura dei codici bidimensionali può essere realizzata tramite l'acquisizione di immagini bidimensionali nella zona in cui è prevista la presenza di un codice e la localizzazione del codice stesso all'interno della immagine, per la sua decodifica. In generale, la localizzazione del codice prevede una serie di fasi che consentono inizialmente di discriminare, all'interno dell'immagine memorizzata nella memoria di un elaboratore, la regione o le regioni in cui è presente uno o più codici rispetto a zone in cui sono presenti altri

oggetti o figure; quindi di localizzare particolari configurazioni di riconoscimento ("recognition pattern"), tipiche per ciascun codice, di acquisire informazioni relative al tipo di codice presente e infine di
5 contornare esattamente il codice. In seguito, l'immagine contornata del codice viene elaborata per estrarre le caratteristiche necessarie alla decodifica ed, infine, il codice viene decodificato.

Tuttavia, per effetto delle distorsioni geometriche dovute alla mancanza di parallelismo tra il piano
10 che contiene il codice (di cui viene acquisita l'immagine) e il piano di ripresa, il quadrilatero che inscrive il codice nell'immagine memorizzata non ha, in generale, una forma geometrica regolare. In particolare,
15 re, possono presentarsi deformazioni prospettiche dovute a rotazioni intorno a tre assi nello spazio (presenza di angolazioni di "pitch", "skew" e "tilt"). Tali deformazioni, in alcuni casi non trascurabili, trasformano il codice (di forma rettangolare o quadrata) in
20 quadrilateri non regolari.

Un esempio di deformazione tipica è mostrato in fig. 2, nella quale è mostrato un codice di tipo Data-matrix, inclinato di 50° rispetto al piano del lettore.

Attualmente, per eliminare o compensare le deformazioni prospettiche, l'immagine acquisita viene riscal-

25

lata applicando algoritmi di rototraslazione a tutti i pixel dell'immagine acquisita (o della porzione di immagine dove è stato localizzato e contornato il codice), in modo da ottenere una nuova immagine in cui il
5 codice assume la forma regolare iniziale.

A tale scopo, è necessario conoscere delle informazioni specifiche relative al codice in lettura: ad esempio, nel caso del Maxicode, si può analizzare il bull-eye (bersaglio formato da una serie di cerchi concentrici al centro del codice) e, nel caso esso abbia
10 forma di ellisse, si deducono i parametri della rototraslazione di "raddrizzamento" e si esegue la rototraslazione con i parametri dedotti.

I sistemi noti richiedono tuttavia l'esecuzione di
15 numerose operazioni complesse dal punto di vista computazionale (si lavora su matrici, trasformando tutti i punti dell'immagine); di conseguenza sono richieste elevate capacità di calcolo, che non tutti i lettori possiedono, ed un notevole tempo di calcolo, per cui la
20 lettura diventa lenta.

Scopo dell'invenzione è quello di mettere a disposizione un metodo di correzione della distorsione che richieda un numero di operazioni ed un tempo computazionale inferiore rispetto ai metodi noti.

25 Secondo la presente invenzione viene realizzato un

metodo per la correzione della distorsione di un'immagine deformata derivante dalla lettura di un codice ottico, detto codice ottico comprendendo una pluralità di elementi e detta immagine deformata comprendendo una
5 seconda pluralità di punti, a ciascun punto essendo associato un rispettivo valore di luminosità, caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:

- effettuare una grigliatura di detta immagine deformata per identificare una pluralità di punti caratteristici in detta immagine deformata; e
10
- generare una immagine trasformata formata da punti di decodifica tramite trasformazione geometrica fra detti punti caratteristici e detti punti di decodifica.

Preferibilmente, i punti caratteristici sono scelti in modo tale da costituire il pixel centrale di ogni
15 elemento del codice ottico. In tal modo, viene utilizzato per la decodifica solo il punto più significativo di ciascun elemento, che non risente dell'effetto di bordo dovuto alla presenza di elementi di codice adiacenti di colore diverso; inoltre, viene ridotto drasticamente il numero di operazioni di calcolo necessarie
20 per eliminare la distorsione.

Vantaggiosamente, inizialmente viene determinata la struttura del codice in lettura, per identificare il
25 numero di righe e colonne del codice. Quindi viene ese-

guita la fase di grigliatura; questa comprende le fasi di costruire una griglia rettangolare formata da linee definenti univocamente le coordinate di punti notevoli associati al punto centrale di ciascun elemento di codice; determinare la trasformazione geometrica esistente fra punti di riferimento di posizione nota sull'immagine deformata e corrispondenti punti sull'immagine deformata; e calcolare le coordinate dei punti caratteristici associati ai punti notevoli per effetto della trasformazione geometrica.

Ulteriori caratteristiche dell'invenzione risulteranno dalla descrizione di una forma di realizzazione preferita, fornita a puro titolo di esempio non limitativo e illustrata nei disegni allegati, nei quali:

15 - le figure 1a, 1b, 1c e 1d mostrano esempi di codici bidimensionali di tipo noto;

 - la figura 2 mostra un esempio di un'immagine acquisita tramite un lettore di codici, prima dell'elaborazione;

20 - la figura 3 mostra uno schema di flusso relativo alla lettura di un codice ottico da immagini bidimensionali;

 - la figura 4 mostra uno schema di flusso relativo alla correzione di distorsioni dell'immagine, secondo
25 la presente invenzione;

- la figura 5 mostra un esempio di un codice bidimensionale di un primo tipo durante una fase del metodo di correzione della distorsione secondo l'invenzione;
- la figura 6 mostra un esempio di un codice bidimensionale di un secondo tipo durante la stessa fase di figura 5;
- la figura 7 mostra l'andamento del segnale ottenuto in una successiva fase del presente metodo;
- la figura 8 mostra un esempio di griglia costruita secondo il presente metodo;
- la figura 9 mostra un altro esempio di griglia costruita secondo il presente metodo;
- la figura 10 mostra un'immagine relativa ad un codice bidimensionale acquisito da un lettore, con sovrapposta una griglia secondo la presente invenzione;
- la figura 11 presenta la relazione esistente fra una griglia rettangolare e la relativa griglia trasformata; e
- la figura 12 mostra un esempio di codice e dei relativi punti di partenza per la costruzione della griglia secondo una variante del presente metodo.

Secondo quanto mostrato nello schema di flusso di fig. 3, per la lettura di un codice a partire da un'immagine bidimensionale, inizialmente viene acquisita e memorizzata l'immagine di una porzione di spazio al-

l'interno della quale viene ricercato almeno un codice informativo (blocco 10). In particolare, l'acquisizione dell'immagine può avvenire con qualunque tipo di telecamera o apparecchio di ripresa, in grado di fornire in uscita un'immagine digitalizzata in toni di grigio, formata da una pluralità di pixel, ciascuno rappresentante la luminosità dell'immagine nel punto considerato e preferibilmente codificato mediante almeno 8 bit (almeno 256 livelli di grigio). L'immagine digitalizzata viene quindi memorizzata in un'opportuna memoria (non mostrata) per la successiva elaborazione.

Successivamente, vengono ricercate, all'interno dell'immagine memorizzata, regioni di interesse che potenzialmente contengono un codice ottico, blocco 11. Ad esempio, allo scopo vengono cercate le regioni ad elevato contrasto, dato che i codici sono formati da una matrice di elementi (indicando con elemento il componente più piccolo del codice) caratterizzati da almeno due differenti valori di riflettività (tipicamente, di colore bianco e nero) la cui specifica alternanza serve per codificare le informazioni.

Quindi, per ciascuna di tali regioni di interesse, viene localizzato esattamente il codice e vengono determinate le cosiddette configurazioni di riconoscimento, blocco 12. La fase di localizzazione 12, di per sé

nota, richiede differenti metodi a seconda del tipo di codice. Ad esempio, per il codice Datamatrix (fig. 1a) si può procedere alla determinazione delle coordinate della forma a L (che contorna i lati sinistro e inferiore del codice in fig. 1a), mediante un algoritmo di rilevamento di angolo ("corner detection") ricavabile ad esempio dal testo di D. Montgomery, G.C. Runger: "Applied Statistics and Probability for Engineers", Wiley, 1994, dal testo di R. Jain, R. Kasturi, B.G. Shun-
10 nek: "Machine vision", McGraw-Hill, 1995 o dal metodo standard proposto dalle specifiche AIM (Specifiche AIM per Datamatrix), che si basa sulla ricerca di due segmenti di dimensione minima (dimensione nota dalle specifiche dell'applicazione) che sono i due lati della
15 forma ad L.

Per quanto riguarda il codice Maxicode (fig. 1b), la fase di localizzazione 12 comprende la determinazione delle coordinate del centro del codice o Bull Eye, ad esempio utilizzando il metodo standard descritto
20 nella specifica AIM (Specifiche AIM per Maxicode), che si basa sulla ricerca del "template" costituito da alternanza di pixel bianchi e neri caratteristici del bersaglio.

Per il codice QR-Code vengono determinate le coordinate dei vertici dei tre quadrati posti su tre dei
25

quattro angoli del codice (fig. 1c), ad esempio con il metodo standard proposto dalle specifiche AIM per il QR-Code.

5 Nel caso di codici lineari (codici a barre) o stacked (PDF417, fig. 1d) vengono determinate almeno tre barre del codice con algoritmi di riconoscimento di segmenti noti (si veda ad esempio il testo di D. Montgomery, G.C. Runger o il testo di R. Jain, R. Kasturi, B.G. Shunek sopra citati).

10 Nella fase di localizzazione 12, vengono inoltre estratte informazioni sulla struttura geometrica e sulle dimensioni del codice, utilizzate in seguito. Ad esempio, nel caso del Maxicode, vengono stimate le dimensioni degli esagoni che lo costituiscono.

15 In seguito, viene eseguita una fase di segmentazione (blocco 13) consistente nel separare l'area contenente il solo codice dalla parte rimanente dell'immagine digitalizzata. Questa operazione è volta a determinare le coordinate dei quattro vertici del quadrilatero che iscrive il codice. La segmentazione può essere effettuata con un meccanismo di aggiunta progressiva di pixel ("region growing") noto in letteratura (ad esempio utilizzando gli algoritmi di "convex hull" descritti in "Algorithms" di R. Sedgewick, Ed. Addison
20 Wesley), utilizzando le informazioni di localizzazione
25 Wesley), utilizzando le informazioni di localizzazione

appena ricavate e sfruttando la presenza di zone chiare ("quiet zone") attorno al codice. Ad esempio per un Maxicode è possibile applicare il "region growing" a partire dal cerchio esterno del Bull Eye, avendo una stima
5 delle dimensioni dei singoli esagoni e dell'area totale occupata dal codice. Al termine della fase di segmentazione 13 si ottiene quindi un'immagine in seguito definita come immagine segmentata.

Successivamente, viene eseguita una fase di corre-
10 zione della distorsione e calcolo delle caratteristiche di decodifica, blocco 14. In tale fase, descritta in dettaglio in seguito con riferimento alla fig. 4, partendo dall'immagine segmentata, che è deformata e i cui punti sono associati a toni di grigio, per ciascuno de-
15 gli elementi che costituiscono il codice, viene corretta la distorsione prospettica, vengono estratti i valori di grigio e viene determinato il valore binarizzato (bianco o nero, definente le caratteristiche o "features" di decodifica) necessario all'algoritmo di decodi-
20 fica, ottenendo quindi una immagine trasformata e digitalizzata, in seguito chiamata anche immagine di decodifica. A tale scopo, secondo quanto sotto descritto in dettaglio, viene eseguita una operazione di grigliatura del codice, che consente di ridurre drasticamente il
25 numero di pixel da elaborare, rendendo molto più veloce

la lettura del codice.

Infine, utilizzando le caratteristiche di decodifica, fornite secondo una sequenza prefissata, viene eseguita in modo noto la decodifica (blocco 15) che
5 porta all'estrazione dell'informazione codificata.

Per la correzione degli errori prospettici si presuppone che il codice di cui viene acquisita una immagine sia disposto fisicamente su un piano. Inoltre, come sopra indicato, all'inizio della fase di estrazione
10 ne delle caratteristiche di decodifica 14 sono disponibili le seguenti informazioni:

1. tipologia del codice: questa informazione è utile, in quanto consente di differenziare le operazioni di grigliatura a seconda del tipo di codice;
- 15 2. orientazione del codice: la maggioranza dei codici non ha una struttura simmetrica, per cui è necessario conoscere l'esatta orientazione del codice nell'immagine. Questa informazione è esprimibile mediante il posizionamento delle configurazioni o "pattern"
20 tern" di riconoscimento (es. la L del codice Datamatrix).
3. coordinate dei quattro vertici V1, V2, V3, V4 del quadrilatero che inscrive il codice (fig. 11).

Con riferimento dunque alla fig. 4, la fase di
25 correzione della distorsione ed estrazione delle carat-

teristiche di decodifica 14 comprende inizialmente una fase di calcolo di una soglia di binarizzazione necessaria in seguito, blocco 20. A tale scopo, viene costruito l'istogramma cumulativo dei livelli di grigio di ogni pixel appartenente ad una porzione di immagine che contiene il codice localizzato, preferibilmente la parte centrale del codice. La dimensione di tale intorno deve essere tale da contenere un numero di pixel sufficientemente grande da essere significativo dal punto di vista statistico. Tipicamente, è necessario avere a disposizione almeno un migliaio di pixel, ad esempio vengono considerati insiemi di 50x50 o 60x60 pixel. L'istogramma viene quindi analizzato e viene calcolato un valore medio di grigio, definente una soglia di grigio. Il metodo applicato per la determinazione della soglia può essere uno tra i tanti noti in letteratura (si veda ad esempio il testo di R. Gonzales, R.E. Woods "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1992 o il testo di D. Montgomery, G.C. Runger sopra citato).

In seguito, viene rilevata la struttura del codice che è determinata dalla orientazione del codice stesso (già nota, come sopra indicato) e dal numero di elementi presenti in ogni riga e colonna. Per i codici a dimensione fissa, come ad es. il Maxicode, il numero di

elementi presenti su ogni riga ed il numero di righe sono noti a priori. In altri codici, invece, essi non sono noti a priori ma devono essere determinati dello specifico codice letto.

- 5 Di conseguenza, il metodo verifica se l'immagine segmentata fornita dalla fase di segmentazione 13 appartiene ad un codice Maxicode, blocco 21; in caso negativo, uscita NO, vengono eseguite scansioni mirate dell'immagine segmentata, blocco 22; viene calcolato il
- 10 numero di elementi in ciascuna riga e ciascuna colonna, blocco 23 e quindi viene eseguita la fase di grigliatura dell'immagine (blocchi 24-26); in caso positivo (uscita SI dal blocco 21) si passa direttamente alla fase di grigliatura dell'immagine (blocchi 24-26).
- 15 Nel caso di esecuzione di scansioni mirate, blocco 22, si procede in modo differente a seconda del tipo di codice. Per i codici Datamatrix viene prelevata l'informazione di sincronismo ("clock") posta sui lati opposti alla configurazione di riconoscimento (forma a
- 20 L che contorna i lati sinistro e inferiore del codice in fig. 1a): in ciascuno di questi lati vi è infatti una struttura regolare, composta da singoli elementi alternativamente bianchi e neri, che servono proprio a stabilire il numero di elementi per riga e colonna del
- 25 codice. In particolare, conoscendo con esattezza le co-

ordinate dei vertici V1-V4 del codice, e in particolare i tre vertici V1-V3 che delimitano i due lati opposti al pattern di identificazione (si veda la fig. 5 mostrante un esempio di un codice Datamatrix), vengono
5 acquisiti, dall'immagine segmentata, i pixel disposti lungo i due lati opposti sopra indicati (si vedano le due linee di scansione 40 e 41 di fig. 5).

Viceversa, nel caso del QR-Code (si veda la fig. 6), vi sono due linee di congiungimento di lati dei tre
10 quadrati caratteristici che servono allo stesso scopo (linee 44, 45). Infatti, in questo caso, dalla fase di localizzazione 12 sono note le coordinate dei tre vertici reciprocamente affacciati dei tre quadrati (punti A, B, C); di conseguenza, analogamente a prima, dal-
15 l'immagine segmentata viene acquisito il valore dei pixel disposti sui segmenti delle linee 44, 45 che congiungono i vertici A-C.

In pratica, in entrambi i casi viene effettuata almeno una scansione su ciascuna zona caratteristica
20 del codice. Si ottiene in tal modo una forma d'onda (mostrata in fig. 7) che rappresenta l'andamento della luminosità L in una generica direzione di scansione x. Tale forma d'onda viene quindi utilizzata per il calcolo del numero di elementi su ciascuna riga e del numero
25 di righe del codice, nella fase 23. In particolare, da-

to che la forma d'onda è del tutto simile a quella ottenuta dalla scansione di un codice a barre con un raggio laser (col vantaggio che si conosce a priori la struttura della configurazione letta), è possibile utilizzare uno dei metodi noti per la decodifica di codici a barre. Ad esempio, è possibile inizialmente calcolare il valore medio dell'andamento di luminosità L ottenuto (linea 46 di fig. 7) e rilevare il numero di volte in cui il segnale di luminosità attraversa la linea di valore medio 46. Al termine, si ottengono il numero $N1$ di elementi in ciascuna riga (numero di colonne) e il numero $N2$ di righe del codice in lettura.

La procedura di grigliatura comprende una prima sottofase 24 in cui viene costruita una griglia rettangolare ideale formata da una matrice di punti notevoli, una seconda sottofase 25 in cui viene determinata l'omografia che trasforma la griglia rettangolare nella griglia deformata corrispondente all'immagine segmentata sulla base di alcuni punti di cui è nota la posizione all'interno del codice (punti di riferimento) ed una terza sottofase 26 in cui viene costruita una griglia deformata corrispondente alla griglia ideale, utilizzando l'omografia appena determinata.

La griglia rettangolare viene costruita in modo tale che le coordinate dei suoi punti (detti notevoli)

corrispondano al centro degli elementi che compongono il codice da leggere, usando una griglia formata da linee verticali ed orizzontali correlate univocamente, nel modo sotto descritto, ai punti notevoli, tenendo
5 conto della eventuale distorsione prospettica e del tipo di codice da leggere.

In pratica, per tutti i tipi di codice, si definisce una griglia rettangolare con passo eventualmente diverso per ogni direzione, ma costante, con tante
10 righe e colonne quante sono le righe e colonne del codice.

Specificamente, per codici Datamatrix e QR-Code, la griglia è costruita in modo tale che le intersezioni delle righe e colonne della griglia rappresentino il
15 centro di ciascun elemento dello stesso codice. A tale scopo, vengono fissati a piacere i contorni dell'immagine di decodifica che si vuole ottenere, cioè dell'immagine che contiene le caratteristiche di decodifica. Ad esempio, vengono fissate a piacere le coordinate dei
20 quattro vertici $V1'$, $V2'$, $V3'$, $V4'$ (fig. 11) dell'immagine di decodifica, ad esempio $(0,0)$, $(0,1)$, $(1,1)$, $(1,0)$, in modo da ottenere un'immagine di decodifica avente lati di lunghezza unitaria e passo eventualmente differente in orizzontale e verticale, oppure $(0,0)$,
25 $(0,N1)$, $(N2,N1)$, $(N2,0)$, in cui $N1$ e $N2$ hanno il signi-

ficato sopra indicato, in modo da ottenere un'immagine di decodifica avente lati di lunghezza eventualmente diversa (se $N1 \neq N2$) e passo uguale in orizzontale e verticale.

5 Una volta fissata la lunghezza dei lati orizzontale e verticale dell'immagine di decodifica, sulla base del numero di righe e colonne dell'immagine di decodifica stessa (uguale, come si è detto, al numero di righe e colonne del codice in lettura), ne derivano automaticamente le coordinate delle singole righe e colonne, le cui intersezioni rappresentano i punti dell'immagine di decodifica, cui in seguito devono essere associati i corrispondenti valori di luminosità binarizzati. Ad esempio, in fig. 8 è mostrata la griglia rettangolare ottenuta nel caso puramente esemplificativo di $N1 = N2 = 5$, una volta fissate le coordinate dei quattro vertici $V1'$, $V2'$, $V3'$, $V4'$ dell'immagine di decodifica. In fig. 8 sono inoltre evidenziate con una crocetta le intersezioni delle righe e delle colonne dell'immagine di decodifica stessa, le cui coordinate possono essere ricavate immediatamente, una volta fissata la lunghezza dei lati dell'immagine di decodifica. Ad esempio, ponendo la lunghezza dei lati $l = 5$, si ottengono le coordinate $(0.5, 0.5)$, $(0.5, 1.5)$, ..., $(1.5, 0.5)$, $(1.5, 1.5)$, ecc.

10

15

20

25

Per i codici Maxicode (che sono formati da elementi esagonali posti a nido d'ape), invece, la griglia rettangolare è costruita in modo tale che l'intersezione delle linee orizzontali e verticali (concettualmente assimilabili alle righe e alle colonne dei codici Datamatrix e QR-Code) rappresentino i centri degli esagoni delle righe dispari, mentre i punti mediani tra due incroci successivi rappresentino il centro degli esagoni delle righe pari. In tal modo, se si costruisce una matrice rettangolare a passo costante ma diverso (ad esempio, H in direzione orizzontale e V in direzione verticale, si veda la fig. 9) nelle due direzioni e lo si analizza riga per riga, i punti notevoli (indicati ancora con crocette in fig. 9) si presentano alternativamente nelle intersezioni della griglia rettangolare e nei punti intermedi delle intersezioni. È importante sottolineare che in questa fase sono note tutte le coordinate dei centri degli elementi del codice necessari alla decodifica (e quindi il valore del passo H e V, tranne l'orientamento esatto, dato che esiste un'incertezza di 90°), nonché il numero (fissato) di righe e di colonne, per cui la costruzione della griglia rettangolare è particolarmente semplice.

Una volta terminata la fase di determinazione delle coordinate di tutti i punti notevoli, è necessario

"mappare" la griglia rettangolare sull'immagine segmentata reale, attraverso il calcolo delle coordinate dei punti (pixel) sull'immagine segmentata corrispondenti ai punti notevoli della griglia rettangolare stessa. Il

5 problema è complicato dalla deformazione geometrica del codice. Tale problema si risolve ricorrendo a trasformazioni note della geometria classica, in particolare all'omografia. Note infatti le coordinate dei quattro vertici V_1, V_2, V_3, V_4 del quadrilatero che inscrive il

10 codice nell'immagine memorizzata (ovvero i quattro vertici dell'immagine segmentata), e fissate le coordinate dei quattro vertici corrispondenti V_1', V_2', V_3', V_4' dell'immagine di decodifica in modo da rispettare la geometria del codice (griglia rettangolare di origine),

15 risulta univocamente individuata la omografia che trasforma le coordinate dei vertici V_1', V_2', V_3', V_4' nel piano dell'immagine di decodifica nelle coordinate dei corrispondenti vertici V_1, V_2, V_3, V_4 nel piano che contiene l'immagine segmentata (fase di determinazione

20 dell'omografia 25). In pratica, si determinano i coefficienti di una matrice C che, moltiplicata per le coordinate $(1, x, y)$ dei vertici V_1', V_2', V_3', V_4' , forniscono le coordinate (T, K, V) del corrispondente vertice V_1, V_2, V_3, V_4 sull'immagine segmentata. Inoltre

25 tale omografia, come è noto, consente di trasformare

tutti i punti nel piano dell'immagine di decodifica nei corrispondenti punti nel piano che contiene l'immagine segmentata.

In particolare, nel caso dei codici Maxicode, viene inoltre calcolata anche la trasformata inversa (matrice C^{-1}), che è necessaria per orientare correttamente la griglia ideale rispetto al codice (dato che in questo caso, l'orientamento risultante dalla configurazione di riconoscimento è noto con un errore di $\pm 90^\circ$, come sopra indicato).

Una volta nota l'omografia, essa viene applicata a tutti i punti notevoli della griglia rettangolare (ottenuta nella fase di costruzione della griglia 24). In pratica, vengono calcolate le coordinate dei punti dell'immagine segmentata, in seguito indicati come punti caratteristici, corrispondenti ai punti notevoli della griglia rettangolare, ottenendo una matrice (fase di calcolo della griglia trasformata 26). Al proposito, si vedano le figure 10 e 11 mostranti rispettivamente la griglia trasformata corrispondente alla griglia rettangolare (per effetto dell'omografia), sovrapposta al codice di fig. 2, e la relazione esistente fra una griglia rettangolare e una griglia trasformata. Inoltre, nella fig. 10 sono visibili coppie di linee di scansione 40, 41 ed un rettangolo 50 utilizzato nella fase di

calcolo della soglia 20.

In seguito, per i punti caratteristici appena identificati, che, in condizioni ideali corrispondono al centro di ciascun elemento del codice, viene acquisito il valore di luminosità ad essi associato nell'immagine segmentata e tale valore viene binarizzato, utilizzando il valore di soglia calcolato nella fase di calcolo della soglia 20 (fase di binarizzazione valori 27). Quindi il valore binarizzato appena trovato viene associato al corrispondente punto notevole sulla griglia rettangolare, costruendo, punto per punto, una matrice di punti rappresentante le caratteristiche di decodifica (fase di ricostruzione immagine di decodifica 28).

Nella descrizione precedente, si è fatto riferimento in particolare solo a codici Datamatrix, Maxicode e QR-Code. Infatti, l'estrazione delle caratteristiche di decodifica per codici lineari e stacked è svolta più facilmente in altri modi. Il presente metodo è comunque applicabile anche a questi codici e anzi trova vantaggiosa applicazione in caso di codici rovinati o con parti mancanti.

In particolare, per i codici lineari è possibile applicare la tecnica della grigliatura e mediare i dati ricavati per più righe, adattando la procedura di gri-

gliatura sopra descritta in modo da utilizzare una griglia con un numero minimo di righe scelto a priori.

Nel caso di codici stacked, è necessario adattare la fase di grigliatura e scegliere il numero di righe
5 in modo da assicurarsi sempre almeno un passaggio per ogni riga utile del codice stacked.

I vantaggi ottenibili con il metodo descritto sono i seguenti.

In primo luogo, esso presenta elevata robustezza
10 alle deformazioni geometriche e consente di decodificare codici acquisiti con angoli di skew e/o pitch fino a 50°. In particolare, esso risulta molto vantaggioso nel caso di lettori manuali.

Inoltre, il presente metodo presenta elevata affidabilità dato che esso effettua la ricerca, per ciascun
15 elemento del codice, del solo punto o pixel centrale, ovvero del punto che meno risente degli effetti di bordo. Infatti, i pixel disposti sul bordo degli elementi di codice adiacenti a elementi di codice di diverso colore sono soggetti a sfumature legate sia alle operazioni di stampa sia alle operazioni di acquisizione
20 dell'immagine; di conseguenza, l'elaborazione separata o cumulativa dei livelli di luminosità dei pixel di bordo comporta un degrado dell'informazione ottenibile.
25 Il presente metodo elimina quindi tale degrado operando

solo sui pixel teoricamente meno sensibili.

Il metodo è complessivamente veloce se comparato a metodi standard AIM. Infatti, per l'estrazione delle caratteristiche di decodifica nei codici Maxicode, il
5 metodo standard lavora nello spazio delle frequenze e richiede una trasformazione FFT bidimensionale dell'intera immagine e, poi, una FFT inversa. Viceversa, secondo la presente invenzione, non solo non si lavora nello spazio delle frequenze, ma le operazioni di trasformazione nello spazio (omografia) vengono eseguite
10 solo su pochi pixel dell'immagine rispetto a quelli originari.

Il presente metodo è inoltre indipendente dalle dimensioni e dall'orientamento dei codici. Infatti, esso riesce a decodificare codici di dimensioni molto varie. Questo vantaggio è particolarmente importante nel
15 caso di codici Datamatrix, QR-Code e PDF, dato che questi presentano dimensioni estremamente variabili.

Come indicato sopra, il presente metodo consente, entro certi limiti, anche la lettura e la decodifica di
20 codici rovinati o con parti mancanti, ad esempio disposte lungo le righe o colonne contenenti le informazioni di sincronismo. Infatti esso consente di calcolare la lunghezza (modulo) di ciascun elemento e di rilevare la
25 presenza di elementi erronei presentanti ad esempio

lunghezza pari ad un multiplo (o una frazione), rispetto alla maggioranza di elementi rilevati nella linea di sincronismo e di correggere quindi il numero di righe e colonne rilevato in base all'informazione di modulo
5 prevalente ricavata.

Risulta infine chiaro che al metodo qui descritto ed illustrato possono essere apportate numerose modifiche e varianti, tutte rientranti nell'ambito del concetto inventivo, come definito nelle rivendicazioni allegate. In particolare, si sottolinea il fatto che,
10 benché il metodo di correzione descritto sia in grado di correggere deformazioni prospettiche legate solo alla mancanza di parallelismo fra il piano su cui giace il codice e il piano di ripresa, come sopra indicato, esso può essere eventualmente associato ad altri algoritmi per la compensazione di altre deformazioni, dovute ad esempio alla curvatura della superficie su cui è
15 posizionata l'etichetta.

Inoltre, le caratteristiche indicate e la sequenza di fasi descritte possono essere sostituite da altre
20 tecnicamente equivalenti.

Ad esempio, si sottolinea il fatto che l'omografia può essere ricavata da qualunque insieme di quattro punti di riferimento dell'immagine deformata di cui è
25 nota la posizione rispetto al codice (nel rettangolo di

origine). In particolare, nel caso del QR-Code, è possibile utilizzare i quattro punti individuati da crocetta in fig. 12, relativi ai punti terminali delle scansioni effettuate durante la fase 22.

5 Inoltre, la fase di calcolo della soglia di binarizzazione 20 può essere eseguita successivamente alla fase di grigliatura, subito prima della fase di binarizzazione 27. Analogamente, la fase di determinazione dell'omografia 25 può essere eseguita prima della fase
10 di costruzione della griglia 24 e le fasi di costruzione della griglia trasformata 26, binarizzazione 27 e costruzione della immagine di decodifica 28 possono essere effettuate punto per punto, invece che, ciascuna, per l'insieme di punti notevoli; ad esempio, appena de-
15 terminate le coordinate di un primo punto notevole, può essere determinato il corrispondente punto trasformato sull'immagine segmentata ed essere binarizzato il valore di luminosità associato a questo; e poi procedere nello stesso modo, iterativamente, per ciascun punto
20 notevole di volta in volta identificato.

Infine, la fase di grigliatura può essere eseguita in modo da determinare, invece che il solo centro di ogni elemento di codice, un piccolo sottoinsieme di pixel disposti in prossimità del centro, e calcolare
25 poi il valore medio della luminosità associata ai pixel

del sottoinsieme, a scapito della rapidità e semplicità delle operazioni di estrazione delle caratteristiche di decodifica.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo per la correzione della distorsione di un'immagine deformata derivante dalla lettura di un codice ottico, detto codice ottico comprendendo una pluralità di elementi e detta immagine deformata comprendendo una seconda pluralità di punti, a ciascun punto essendo associato un rispettivo valore di luminosità, caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:
- effettuare (24-26) una grigliatura di detta immagine deformata per identificare una pluralità di punti caratteristici in detta immagine deformata; e
 - generare una immagine trasformata (26) formata da punti di decodifica tramite trasformazione geometrica fra detti punti caratteristici e detti punti di decodifica.
2. Metodo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti punti caratteristici sono almeno uno per ogni elemento di detto codice ottico.
3. Metodo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detti punti caratteristici sono punti centrali di ciascun elemento di detto codice ottico.
4. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che prima di detta fase di effettuare una grigliatura (24-26) viene eseguita la fase di determinare la struttura (21-23) di

detto codice.

5 5. Metodo secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detta fase di determinare la struttura (21-23) comprende la fase di determinare il numero di elementi (22, 23) di detto codice ottico.

10 6. Metodo secondo la rivendicazione 4 o 5, caratterizzato dal fatto che detta fase di determinare la struttura (21-23) comprende la fase di determinare il numero di righe e colonne (22, 23) di detto codice ottico.

15 7. Metodo secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detta fase di determinare il numero di righe e colonne (22, 23) comprende la fase di eseguire scansioni mirate (22) su porzioni prefissate di detto codice ottico.

20 8. Metodo secondo la rivendicazione 7, in cui detto codice ottico è un codice bidimensionale avente almeno due linee di sincronismo (40, 41; 44, 45), caratterizzato dal fatto che detta fase di eseguire scansioni mirate (22) comprende le fasi di acquisire i valori di luminosità dei punti di detta immagine deformata lungo dette linee di sincronismo e contare il numero di elementi presenti su dette linee di sincronismo.

25 9. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 6-8, caratterizzato dal fatto che detta fase di

effettuare una grigliatura (24-26) comprende la fase di costruire una griglia (24) comprendente un numero di linee di riga (N2) pari a detto numero di righe di detto codice ottico ed un numero di linee di colonna (N1) pari a detto numero di colonne di detto codice ottico.

10. Metodo secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che detta griglia è rettangolare.

11. Metodo secondo la rivendicazione 9 o 10, caratterizzato dal fatto che detta fase di costruire una griglia (24) comprende la fase di identificare coordinate di punti di intersezione di dette linee di riga e di colonna di detta griglia.

12. Metodo secondo la rivendicazione 9 o 10, caratterizzato dal fatto che detta fase di costruire una griglia (24) comprende la fase di identificare alternativamente, su linee di riga adiacenti, coordinate di punti disposti in corrispondenza di punti di intersezione di dette linee di riga e di colonna di detta griglia e, rispettivamente, coordinate di punti mediani fra punti di intersezione di dette linee di riga e di colonna.

13. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detta fase di effettuare una grigliatura (24-26) comprende le fasi di:

- costruire (24) una griglia regolare avente una pluralità di linee intersecantisi;
- determinare, a partire da dette linee intersecantisi, coordinate di punti notevoli di detta griglia regolare;
- 5 - determinare una trasformazione geometrica (25) esistente fra detti punti notevoli di detta griglia regolare e detti punti caratteristici di detta immagine deformata; e
- calcolare (26) le coordinate di detti punti caratteristici applicando detta trasformazione geometrica a
- 10 dette coordinate di detti punti notevoli.

14. Metodo secondo la rivendicazione 13, caratterizzato dal fatto che detta fase di determinare una trasformazione geometrica (25) comprende le fasi di:

- 15 - acquisire coordinate di punti di riferimento (V1-V4) di posizione nota in detta immagine deformata;
- fissare coordinate di punti prefissati (V1'-V4') di detta immagine trasformata; e
- identificare detta trasformazione geometrica che trasforma detti punti di riferimento in detti punti prefissati.
- 20

15. Metodo secondo la rivendicazione 14, caratterizzato dal fatto che detti punti di riferimento (V1-V4) e detti punti prefissati (V1'-V4') sono vertici di

25 detta immagine deformata e, rispettivamente, di detta

immagine trasformata.

16. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detta fase di generare una immagine trasformata comprende la
5 fase di:

- associare (23) il valore di luminosità di almeno un punto caratteristico di detta immagine deformata ad un corrispondente punto notevole di detta immagine trasformata.

10 17. Metodo secondo la rivendicazione 14, caratterizzato dal fatto che detta fase di generare una immagine trasformata comprende inoltre la fase di:

- binarizzare (27) detto valore di luminosità di ciascun detto punto caratteristico utilizzando una soglia
15 di binarizzazione per ottenere un valore di luminosità binarizzato;

e dal fatto che detta fase di associare comprende la fase di memorizzare detto valore di luminosità binarizzato per ciascun detto punto notevole di detta immagine
20 trasformata.

18. Metodo secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che detta soglia di binarizzazione è ottenuta tramite calcolo della luminosità media di una porzione di detta immagine deformata.

25 19. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendica-

zioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detta trasformazione geometrica è un'omografia.

-1-

RIASSUNTO

Il metodo comprende le fasi di determinare inizialmente la struttura del codice in lettura (21-23), per identificare il numero di righe e colonne del codice; quindi costruire una griglia rettangolare ideale (24) formata da righe e colonne definenti univocamente le coordinate di punti notevoli corrispondenti al punto centrale di ciascun elemento di codice; determinare (25), sulla base di punti di riferimento di posizione nota, la trasformazione omografica esistente fra i punti notevoli della griglia rettangolare e punti caratteristici ad essi associati sulla immagine deformata; calcolare (26) le coordinate dei punti caratteristici; e generare (27, 28) una immagine trasformata da decodificare i cui pixel hanno le coordinate dei punti notevoli della griglia e valore pari al valore di luminosità binarizzato dei corrispondenti punti caratteristici.

20 Fig. 4

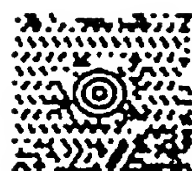
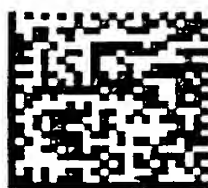


Fig. 1a

Fig. 1b

Fig. 1c

Fig. 1d

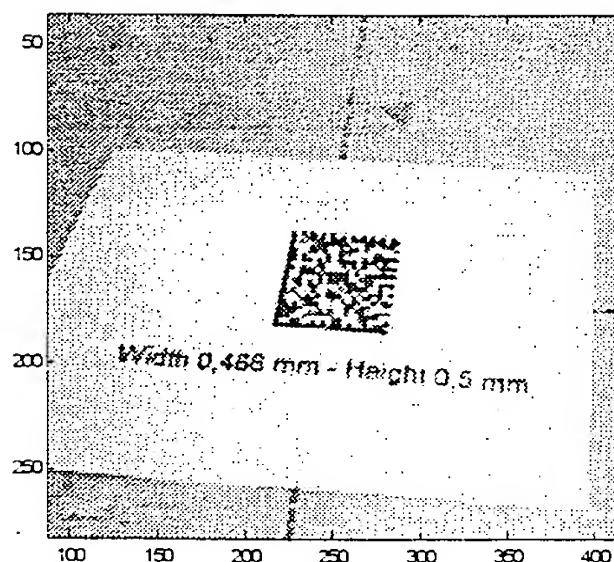


Fig. 2

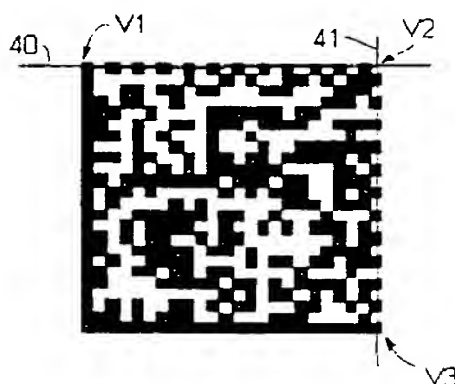


Fig. 5

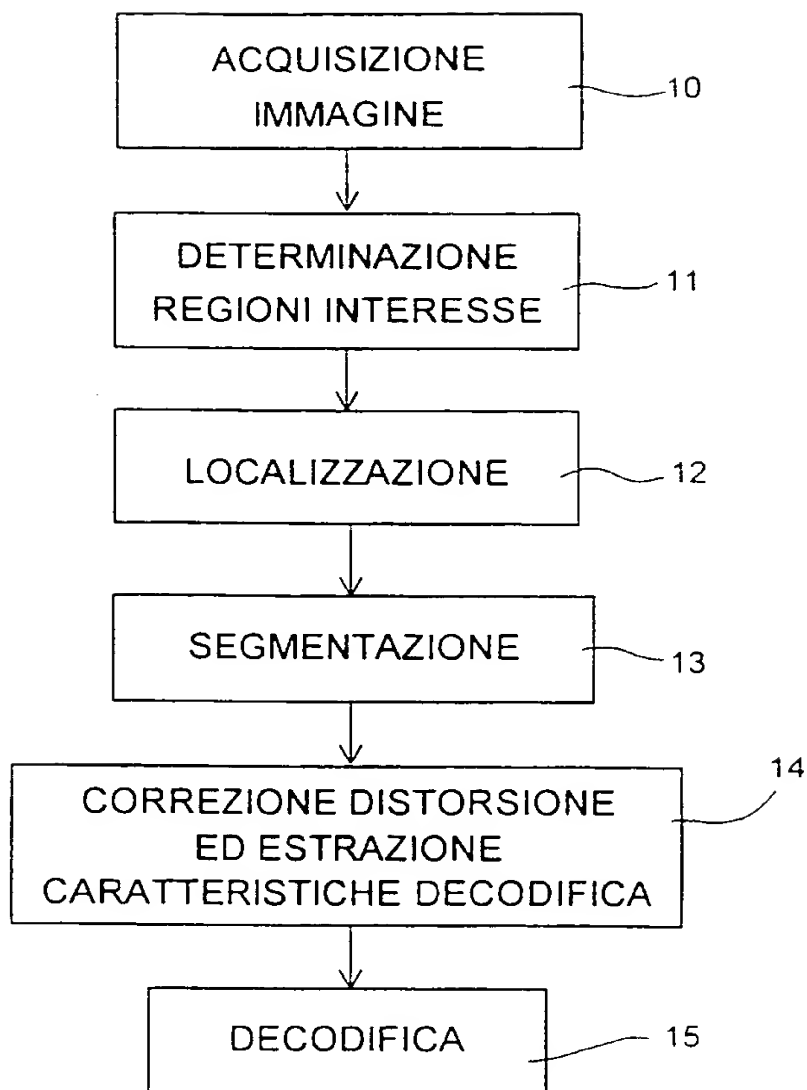


Fig.3

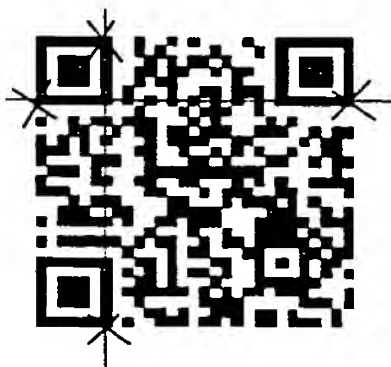
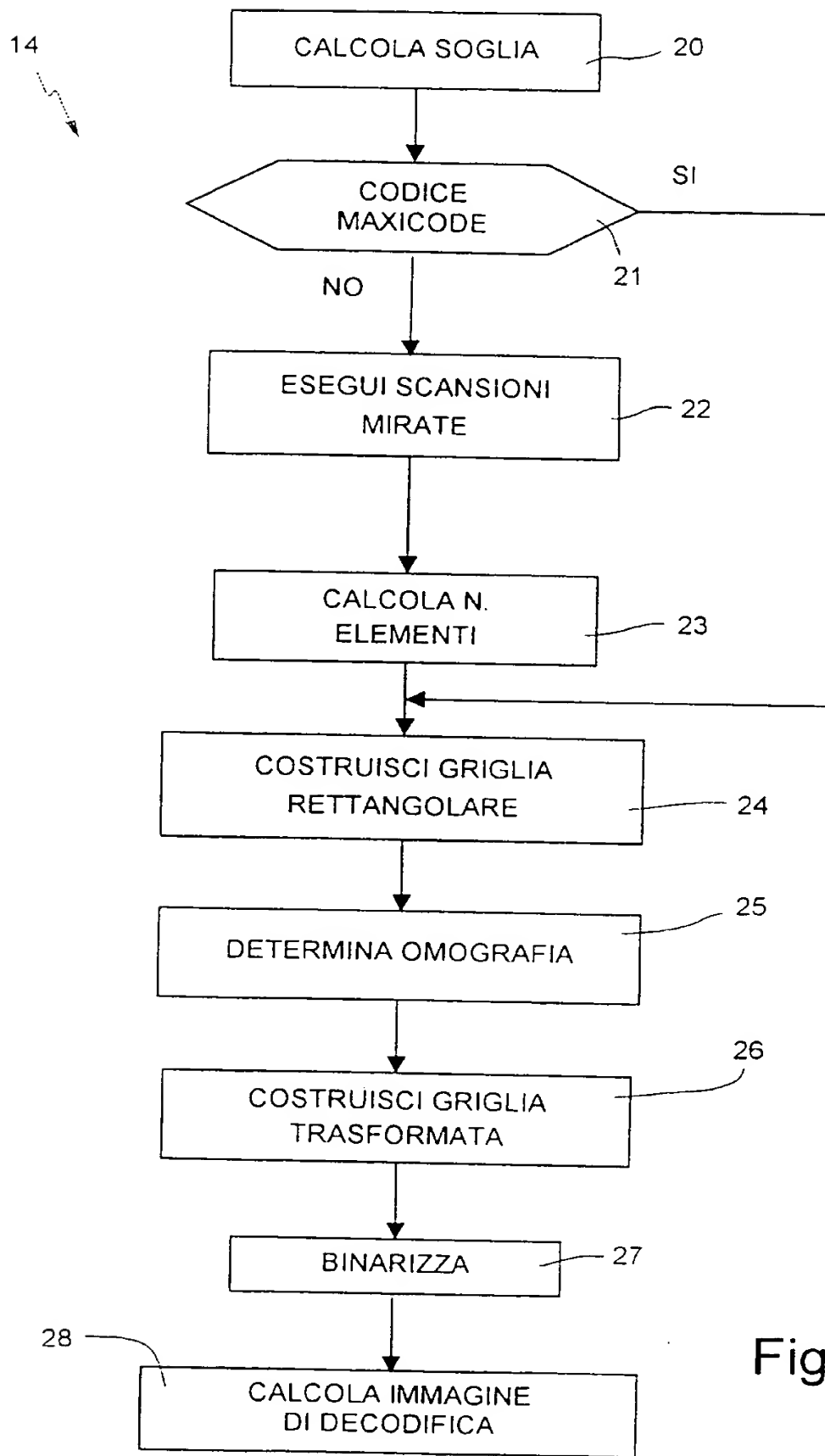


Fig.12



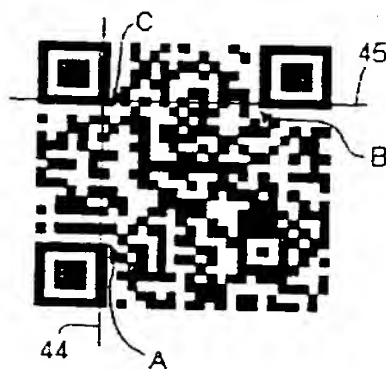


Fig. 6

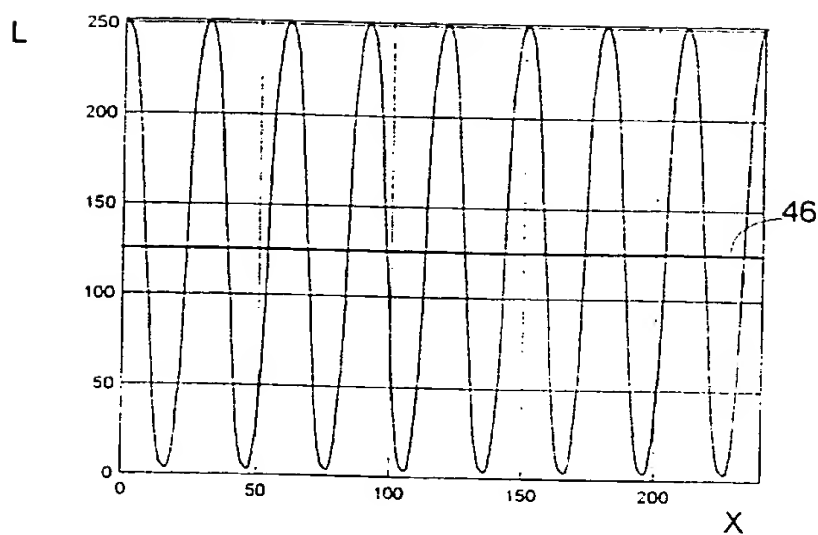


Fig. 7

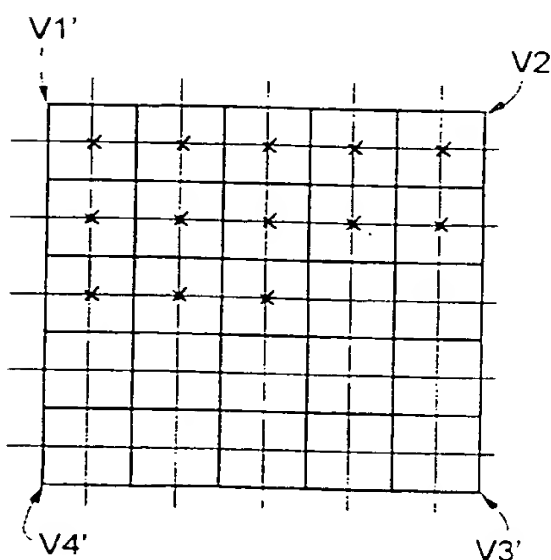


Fig. 8

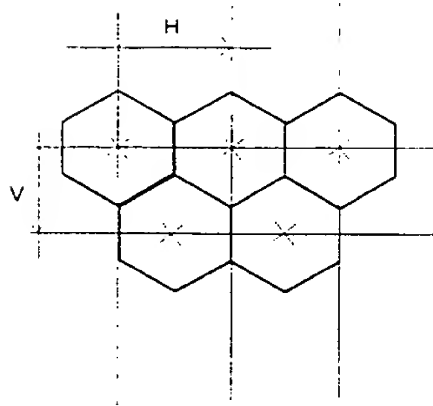


Fig. 9

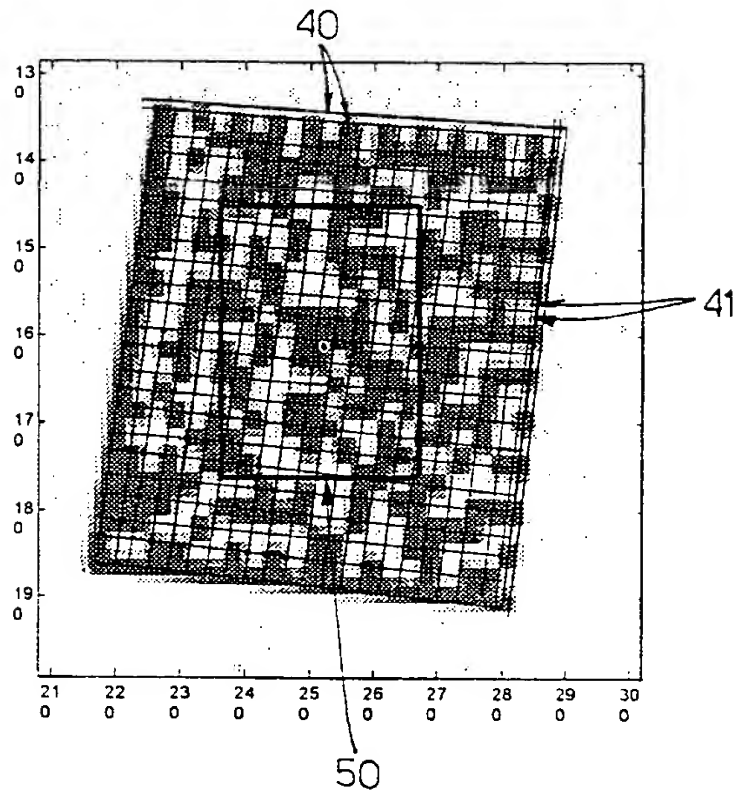


Fig. 10

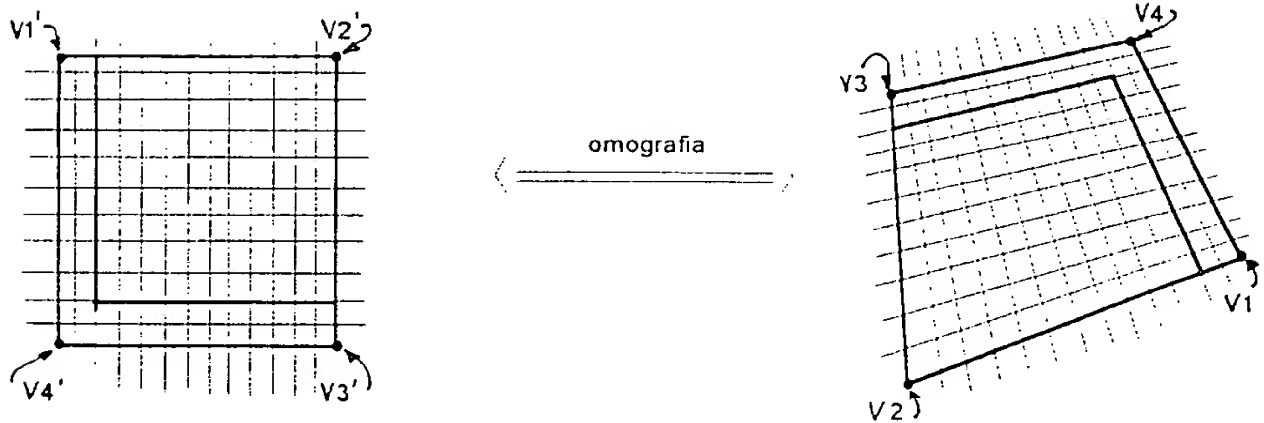


Fig. 11

